جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸
ص ۹-۲۰

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2018.266634.963

تجمع فلزات سنگین در برگ و پوست درخت کاج تهران (*Pinus eldarica*) در فواصل مختلف کمربند سبز بزرگراه یزد

مطهره اسفندیاری[۱]، حمید سودایی‌زاده[۲*]، محمدحسین مختاری[۳]

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشکدهٔ منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد
۲. دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد
۳. استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵

چکیده

هدف تحقیق حاضر، بررسی کارایی درخت کاج تهران در کاهش آلاینده‌های فلزات سنگین موجود در محیط، از طریق تعیین غلظت فلزات سنگین در برگ و پوست این درخت و مقایسهٔ آن با گردوغبار ریزشی است. بعد از آماده‌سازی نمونه‌های غبار ریزشی و گیاهی با استفاده از روش هضم اسید، مقدار عناصر سنگین موجود در عصارهٔ آنها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، فلزات آهن، منگنز، روی و سرب در گردوغبار رسوب‌کرده در تله‌های رسوبگیر دارای بیشترین مقدار بودند و فلز کادمیم، کمترین مقدار را داشت. تأثیرات متقابل فاصله از بزرگراه و غلظت فلزات سنگین در برگ و پوست درخت کاج تهران معنی‌دار شد ($p\leq ۰/۰۱$). غلظت فلزات کادمیم، کبالت، آهن و نیکل با افزایش فاصله از بزرگراه به‌دلیل وزش بادهای چندجهته و وجود دیگر منابع آلاینده در منطقه افزایش داشت. تجزیه‌وتحلیل همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین موجود در غبار ریزشی و درخت کاج تهران نشان داد که مقدار این عناصر در درخت کاج تهران با گردوغبار ریزشی همبستگی معنی‌داری دارد. نتایج نشان داد که پوست درخت کاج تهران با مقدار شاخص انباشت فلزات ۷۲۶۱/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم توانایی بیشتری در جذب همزمان فلزهای مختلف نسبت به برگ‌های آن دارد؛ بنابراین انتظار می‌رود درختان کاج موجود در کمربند سبز بزرگراه یزد، مقدار زیادی از فلزات سنگین را جذب کنند.

واژه‌های کلیدی: شاخص انباشت فلزات، غبار ریزشی، فلزات سنگین، کاج تهران.

مقدمه

جنگل‌های دست‌کاشت، ریه‌های تنفسی شهرها محسوب می‌شوند. درختان به‌دلیل داشتن عملکردهای مختلف، اهمیت چشمگیری در کاهش آثار آلودگی دارند. رشد شهرنشینی، افزایش جمعیت و وجود آلودگی‌های زیست‌محیطی، نیاز به فضای سبز و گسترش آن را به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در کاهش آلاینده‌ها مطرح می‌کند. ایجاد کمربندهای سبز و توسعهٔ فضای سبز شهری، تأثیر زیادی در زندگی شهروندان و سلامت آنها دارد و می‌تواند تا حد زیادی از ورود ریزگردها و آلودگی‌ها به مناطق مسکونی جلوگیری کند.

با گسترش مناطق صنعتی و تأثیر حمل‌ونقل در پیشبرد اهداف آن، آلودگی‌های مختلفی وارد محیط زیست می‌شود. برای کاهش این آلاینده‌ها روش‌های گوناگونی اجرا می‌شود که یکی از آنها، تکیه بر چرخهٔ طبیعت و جنگلکاری در اطراف مناطق صنعتی است. جنگلکاری، گذشته از ذخیرهٔ کربن در اندام‌های هوایی و زمینی درختان، با بهبود ترسیب

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۳۵۳۸۲۱۰۳۱۲
Email: hsodaie@yazd.ac.ir

کربن و مواد آلی در لایه‌های زیرین خاک، در کاهش انتشار آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین نیز مؤثر است؛ بنابراین شناسایی گیاهان مقاوم به آلودگی اهمیت دارد. درختان به‌عنوان عناصر زنده در اکوسیستم، از طریق تنفس یا جذب از طریق ریشه و دیگر اعمال حیاتی، بخشی از مواد آلاینده را درون بافت‌های خود ذخیره می‌کنند و از تراکم و شدت آنها در محیط می‌کاهند.

توفان‌های گردوغبار از متداول‌ترین وقایع طبیعی است که در مناطق گرم و خشک مانند استان یزد بسیار به وقوع می‌پیوندد. گردوغبارهای بیابانی، به‌طور معمول حاوی مقادیر زیادی از مواد سمی هستند که سبب ایجاد مخاطره برای موجودات زندهٔ اکوسیستم‌ها می‌شوند. به‌دلیل قدرت زیاد انتشار ذرات گردوغبار در محیط، فلزات سنگین با اتصال به این ذرات در مقیاس وسیعی منتشر می‌شوند. فلزات سنگین به‌دلیل اثرهای فیزیولوژیکی بر انسان و سایر موجودات زنده در غلظت‌های کم هم دارای اهمیت‌اند [۱]. آنها با فعالیت‌های مختلف انسانی وارد فضا می‌شوند و کیفیت هوا را تحت تأثیر قرار می‌دهند و با چسبیدن به ذرات گردوغبار و همراه شدن با آنها، در پی کاهش سرعت باد یا بارندگی در سطوح مختلف زمین و پوشش گیاهی رسوب می‌کنند و در چرخهٔ زندگی انسان قرار می‌گیرند [۲]. در این میان، درختان براساس ساختار زیستی خود، واکنش‌های متفاوتی به تجمع گردوغبار حاوی فلزات سنگین درون اندام‌های خود نشان می‌دهند و رفتارهای مختلفی را در جهت سازگاری در پیش می‌گیرند. تحقیقات رضانژاد و همکاران [۳] نشان داد که کاهش تعداد روزنه در برگ درخت کاج تهران، سازوکاری برای مقابله با جذب فلزات سنگین است؛ اما گاهی شدت و مدت قرار گرفتن در برابر گردوغبار حاوی فلزات سنگین، به‌حدی زیاد است که موجب خشک شدن و از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود؛ به همین دلیل جهانبازی گوچانی و همکاران [۴]، تنش ناشی از جذب عناصر سنگین توسط درخت بلوط را از عوامل زوال بلوط ایرانی بیان کرده‌اند.

Nowak و همکاران [۵] دربارهٔ حذف آلاینده‌های هوا توسط درختان و درختچه‌های شهری در ایالات متحده، نتیجه گرفتند که درختان شهری سبب بهبود کیفیت هوای شهری، در نتیجهٔ حذف مقدار زیادی از آلاینده‌های هوا می‌شوند. برپایهٔ تحقیقات آنها، گیاهان با ارزش APTI زیاد، با حذف آلودگی یا کاهش دمای هوا می‌توانند به بهبود کیفیت هوا و سلامت انسان کمک کنند. Yan و همکاران - [۶] با بررسی غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس و کادمیم در خاک و گراس‌های نپال نتیجه گرفتند که غلظت مس، روی و سرب در نمونه‌های خاک، بیشتر از نمونه‌های چمن است. Shan و همکاران [۷] به بررسی تأثیر درختان بر حذف ذرات معلق موجود در فضای یک خیابان باریک پرداختند و تأثیر فضای سبز را در حذف آلودگی هوا بسیار مهم دانستند و نتیجه گرفتند که فضای سبز در امتداد یک خیابان می‌تواند مقدار زیادی از ذرات معلق موجود در هوا را حذف کند. Kashyap و همکاران [۸] به‌منظور کاهش آلودگی هوا در هیمالیا به شناسایی گونه‌های مقاوم و جاذب آلودگی پرداختند. آنان نتیجه گرفتند که بلوط ابریشمی که نسبت به بقیه از حساسیت کمتری در برابر آلودگی برخوردار است، گونه‌ای مقاوم و سازگار با شرایط محیط است و برای کاشت در کمربند سبز در هیمالیا توصیه می‌شود. Hassan Farid و همکاران[۹]، برای بررسی غلظت سرب، از گردوغبار فرونشستهٔ شهری بر روی برگ درختان خیابانی در ۲۹ سایت از شهر کراچی نمونه‌برداری کردند و نتیجه گرفتند که غلظت سرب، بیشتر در مناطقی است که دارای تعداد بیشتری از مغازه‌های چاپ، جوشکاری، لحیم‌کاری و بازیافت باتری است.

عباسپور و همکاران[۱۰]، تأثیر بوستان‌های شهری بر انتشار ذرات معلق PM_{10} را با استفاده از نرم‌افزار GIS[1] بررسی کردند و نتیجه گرفتند که از میدان مرکزی بوستان با افزایش فاصله از مبدأ (مرکز پارک لاله) بر مقدار انتشار و

1. Geographic Information System

پخش ذرات معلق افزوده می‌شود تا جایی که در فاصلهٔ ۳۰۰۰ متری از مبدأ در میدان فاطمی به‌صورت ثابت درمی‌آید و به‌شکل خط صاف ادامه پیدا می‌کند. رضانژاد و همکاران[۳] نیز قابلیت دو گونه کاج را در جذب آلودگی‌های معدن مس سرچشمه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که می‌توان کاج سیاه (*P. nigra*) را به‌عنوان شاخص آلاینده‌ها و کاج تهران (*P. eldarica*) را به‌عنوان گیاه مقاوم‌تر برای کاشت در نظر گرفت. حسنوند و همکاران [۱۱]، با بررسی مقدار جذب فلزات سنگین (سرب، مس و روی) در خاک و برگ بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در بزرگراه الشتر– خرم‌آباد، نتیجه گرفتند که غلظت فلزات سنگین در خاک با افزایش فاصله از جاده کاهش می‌یابد و مقادیر غلظت فلزات سنگین در برگ درختان بلوط ایرانی از مقادیر استاندارد جهانی کمتر است؛ بنابراین این گونهٔ درختی توانسته است فلزات سنگین را در خود جمع کند. جهانبازی گوچانی و همکاران [۴]، با سنجش فلزات سنگین (سرب، کادمیم، نیکل، آرسنیک و جیوه) در برگ درختان سالم و خشکیدهٔ بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) نتیجه گرفتند که دو فلز کادمیم و سرب اختلاف معنی‌داری در حد ۱ درصد آماری بین درختان سالم و خشک ایجاد کردند و اظهار داشتند که تنش ناشی از عناصر سنگین موجود در گردوغبار بر سلامت درختان بلوط جنگل هلن در استان چهارمحال و بختیاری تأثیر بسزایی دارد.

از دلایل اصلی غبارناکی هوای شهر یزد وجود عوامل طبیعی تشدیدکننده آلودگی هوا و وضعیت خاص جغرافیایی و اقلیمی، است. یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوای شهر یزد ذرات معلق است که مهم‌ترین منابع آن عبارت‌اند از ذرات ناشی از طوفان‌ها، فعالیت صنایع و کوره‌های آجرپزی که در مجاورت شهر قرار دارند. ریزگردها به‌دلیل داشتن بعضی عناصر سنگین، ممکن است سبب آلودگی هوا، آب و خاک شوند. از طرفی کمبود سطح و سرانهٔ فضای سبز و استقرار صنایع آلوده‌کننده به‌ویژه در دشت یزد – اردکان مشکلات زیادی را برای ساکنان منطقه به وجود آورده است؛ از این‌رو به‌منظور توسعهٔ فضای سبز و ایجاد پارک‌های جنگلی، طرح کمربند سبز شهر یزد انجام گرفته است که افزون‌بر ایجاد مانعی در مقابل بادهای حامل ریزگردهای آلوده، سبب افزایش سرانهٔ فضای سبز شهر نیز شده است. با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی، رشد شهرنشینی و میل به صنعتی شدن، در صورت کاشتن درختان مناسب و سازگار با محیط، جنگل‌های دست‌کاشت در صورت مدیریت درست می‌توانند نقش مؤثری در کاهش این‌گونه آلودگی‌ها داشته باشند. یکی از گونه‌های غالب کاشته‌شده در کمربند سبز بزرگراه یزد، درخت کاج تهران است. هدف تحقیق حاضر، بررسی کارایی درخت کاج تهران در کاهش آلاینده‌های فلزات سنگین موجود در محیط، از طریق تعیین غلظت برخی فلزات سنگین در برگ و پوست درخت کاج و مقایسه با غلظت فلزات سنگین در گردوغبار ریزشی است.

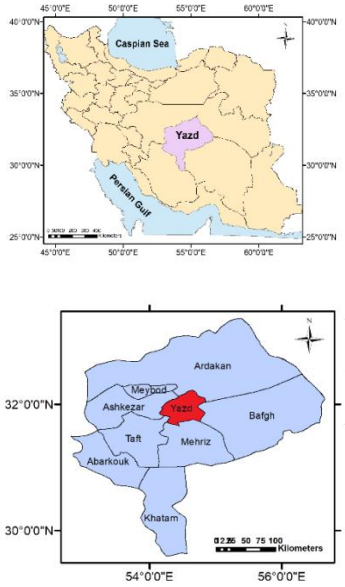
مواد و روش‌ها

– منطقهٔ تحقیق

شهر یزد با اقلیم فراخشک سرد در مختصات "۳ ۲۲ °۵۴ شرقی و"۵۰ ′۵۳ °۳۱ شمالی در دشت یزد اردکان واقع شده است. جهت وزش بادهای غالب از غرب و شمال غرب به‌سمت جنوب شرق است. یزد از مهم‌ترین شهرهای ایران از نظر صنعت، تجارت، آثار باستانی و تاریخی است؛ رشد سریع صنایع مانند صنعت فولاد، ازدیاد وسایط نقلیه، عدم ارتقای وضعیت ترافیک شهر و اقلیم بیابانی منطقه، موجب تشدید ورود ریزگردهای آلوده در اثر نبود پوشش گیاهی مناسب و متراکم یا از بین رفتن پوشش گیاهی در سمت غرب، به شهر یزد شده است. با توجه به اینکه قسمت غرب شهر یزد یکی از ورودی‌های ترانزیتی مهم و محل شهرک‌های صنعتی و کارخانه‌های مختلف است، احداث کمربند سبز در قسمت غربی شهر یزد مطالعه و اجرا شده که در آن،

تعداد گونه‌های سوزنی‌برگ مانند کاج و سرو بیشتر از پهن برگ‌ها در نظر گرفته شده است شکل(۱).

کاج ایرانی یا کاج تهران (*Pinus eldarica*) از خانوادهٔ Pinaceae درختی است با تنه‌ای معمولاً کمی کج که شاخه‌های اصلی تنه گسترده و افقی و گاهی خمیده یا آویزان‌اند؛ تاج درخت تخم‌مرغی پهن تا کروی نامنظم است. برگ‌ها، سوزن‌هایی به‌رنگ سبز تیره به طول ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر هستند و در دسته‌های دوبرگی درون غلاف‌های کوتاهی به رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری قرار دارند (شکل ۲). در حال حاضر نگهداری و مراقبت از این فضای سبز به‌صورت پیمانی در حال اجراست. این محدوده به روش قطره‌ای از آب چاه ایستگاه شهید باهنر آبیاری می‌شود.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ تحقیق

شکل ۲. درخت کاج تهران

شکل ۳. تله‌های رسوبگیر ساخته‌شده

روش تحقیق

به‌منظور بررسی مقدار فلزات سنگین در غبار ریزشی منطقهٔ تحقیق، رسوبگیرهایی از نوع تیله‌ای (MDCO) به روش سیستماتیک ساخته و نصب شد. تله‌های مذکور در ارتفاع ۱/۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین، بر روی لوله‌های پلی‌اتیلن نصب شد (شکل ۳). در مقایسه‌ای که محققان پیشین بین نمونه‌گیرهای رسوب افقی و عمودی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که رسوبگیر تیله‌ای برای جمع‌آوری غبار ریزشی دارای بیشترین بازده است. تلهٔ رسوبگیر طراحی‌شده برای این پژوهش شامل یک ظرف پلاستیکی دایره‌ای به قطر ۲۲ سانتی‌متر بود که درون ظرف سه ردیف گوی یا تیلهٔ شیشه‌ای با قطر متوسط ۱/۶ سانتی‌متر ریخته شد و سپس روی پایهٔ پلی‌اتیلن به ارتفاع ۱/۳۰ سانتی‌متر محکم بسته شده و درون خاک گذاشته شد. پس از گذشت سه ماه از فصل پاییز، غبار به‌دام‌افتاده در جمع‌کننده‌های غبار ریزشی (MDCO) شست‌وشو داده شده و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۵۰ تا ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد در آون، ۱ گرم غبار با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد. به هر نمونه ۷ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک غلیظ اضافه و بعد از خروج بخارات، قطره‌قطره ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ و سپس ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک رقیق (۰/۵ مولار) اضافه شد و پس از ۱۶ ساعت نگهداری در دمای اتاق، به‌مدت ۲ ساعت با درِ بسته، روی هیتر حرارت داده شد و در مرحلهٔ آخر، بعد از سرد شدن نمونه‌ها ۳۳/۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک رقیق اضافه و سپس محلول تهیه‌شده از کاغذ صافی عبور داده و عصارهٔ حاصل به حجم رسانده شد. غلظت فلزات سنگین (آهن، منگنز، مس، روی، سرب، کادمیم، کبالت و نیکل) در محلول هضم‌شده توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل Analytic Jena 330 تعیین شد.

به‌منظور ارزیابی توان گیاه‌پالایی درخت کاج تهران (*Pinus eldarica*) از درختان واقع در کمربند سبز با توجه به عرض کمربند سبز (۳۵۰ متر) و فاصلهٔ کاشت ردیفی درختان از بزرگراه (۳۵ متر) و بین این دو فاصله ذکرشده (۱۷۰ متر) از درختان سالم، در چهار تکرار، نمونه‌برداری از برگ و پوست درخت از ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متری در همهٔ جهت‌های تاج صورت پذیرفت. نمونه‌های گیاهی پس از شست‌وشو، در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک و سپس آسیاب شدند. از نمونه‌های گیاهی هر کدام ۱ گرم وزن شد و در کوره با دمای ۵۵۰ درجه به‌مدت چهار ساعت قرار گرفت سپس به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ مولار اضافه و بعد از قرار دادن در دمای ۸۰ درجه روی هیتر محلول تهیه‌شده از کاغذ صافی واتمن عبور داده و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد؛ سپس غلظت فلزات (آهن، منگنز، مس، روی، سرب، کادمیم، کبالت و نیکل) موجود در نمونه‌های برگ و پوست درخت کاج تهران، توسط دستگاه جذب اتمی مدل Analytic Jena 330 ساخت آلمان تعیین شد [۱۲].

شاخص انباشت فلزها (MAI)

اندام‌های گیاهی قادرند همزمان چند نوع فلز را در خود جمع کنند. شاخص انباشت فلزات برای بررسی مقدار تجمع همزمان فلزهای گوناگون توسط درخت کاج تهران با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد.

$$MAI = \left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=0}^{n} Ij \qquad (1)$$

N تعداد فلزهای اندازه‌گیری‌شده است و I_j برای هر فلز از تقسیم میانگین غلظت فلز در شاخسار گیاه (X) به مقدار انحراف معیار آن (δX) به‌دست می‌آید. در این تحقیق مقدار MAI برای برگ و پوست درختان کاج از رابطهٔ ۲ به‌دست آمد.

$$MAI = 1/8 \times [(XCd/\delta Cd) + (XZn/\delta Zn) + (XNi/\delta Ni) + (XPb/\delta Pb) + (XCo/\delta Co)\ (XMn/\delta Mn) + (XFe/\delta Fe) + (XCu/\delta Cu)] \qquad (2)$$

از آزمون شاپیرو- ویلک برای سنجش نرمال بودن داده‌ها، از آزمون تجزیهٔ واریانس برای مقایسه‌های کلی و از

روش دانکن برای مقایسهٔ میانگین داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد؛ برای مقایسهٔ غلظت کل فلزات سنگین در گردوغبار ریزشی با مقدار استاندارد یا حد مجاز برای کاربری جنگل و مرتع و حفاظت محیط زیست از آزمون t تک نمونه‌ای استفاده شد؛ آزمون‌های مذکور در محیط نرم‌افزار SPSS انجام گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج آماری غلظت فلزات سنگین گردوغبار ریزشی منطقهٔ تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار مربوط به فلز آهن و کمترین مقدار مربوط به فلز کادمیم است. میانگین غلظت منگنز، روی، آهن، سرب، مس و نیکل در گردوغبار ریزشی به‌ترتیب ۲۲۵۶، ۲۲، ۱۶۰۱۷۰، ۱۹، ۸ و ۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. در تحقیقات دیگر، در بوشهر نیز میانگین غلظت آهن، روی، سرب، مس و نیکل در غبار ریزشی به‌ترتیب ۱۱۲۸۰، ۱۷۰، ۶۸، ۵۴، ۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد. میانگین غلظت گردوغبار جمع‌آوری‌شده از خیابان‌های شهر پترا[1] در اردن ۹/۷، ۱۱/۸، ۴۶۹۴/۴، ۳۱/۶ و ۲۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برای عناصر کادمیم، مس، آهن، سرب و روی به‌دست آمد [۱۴]. در شهر پکن[2] چین هم بیشترین مقدار فلزات سنگین در غبار اتمسفری مربوط به سرب، مس، کادمیم و روی بود [۱۵]. در گردوغبار ریزشی جنگل هلن در استان چهارمحال و بختیاری نیز بیشترین مقدار فلزات به‌ترتیب به سرب، آرسنیک، کادمیم و نیکل تعلق داشت [۴]. در گردوغبار ریزشی کنار جاده‌ای جلال‌آباد افغانستان، فلزات منگنز، روی، سرب بیشترین مقدار را داشتند و کمترین مقدار مربوط به فلز کادمیم بود. در منطقهٔ کابل هم فلزات منگنز، روی و نیکل، بیشترین مقدار را داشتند و کمترین مقدار مربوط به فلز کادمیم بود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد [۱۶]. در غبار ریزشی جمع‌آوری‌شده از روی برگ درختان در بوسنی و هرزگوین، فلزات آهن، منگنز، روی و سرب به‌ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و کمترین مقدار مربوط فلز کادمیم بود که همسو با یافته‌های تحقیق حاضر است [۱۷].

نتایج حاصل از جدول تجزیهٔ واریانس (جدول ۲)، بیانگر آن است که اثر فاصله از بزرگراه بر غلظت همهٔ عناصر سنگین معنی‌دار بود ($p\leq$ ۰/۰۱). اثر نوع اندام، به‌جز نیکل بر غلظت عناصر دیگر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل نوع اندام و فاصله از بزرگراه بر همهٔ صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

بررسی اثرهای متقابل نوع اندام و فاصله از بزرگراه (جدول ۳) نشان داد که در بین سه فاصلهٔ بررسی‌شده، بیشترین (۲۲/ ۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین (۱۲/ ۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مقدار نیکل به‌ترتیب در فاصله‌های ۳۵۰ و ۳۵ متری از بزرگراه و در برگ درخت کاج به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با غلظت آن در برگ و در فاصلهٔ ۱۷۰ متری از جاده نداشت. بیشترین و کمترین مقدار فلز روی در پوست درخت کاج با میانگین ۳۸/۱۶ و ۱۱/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب در فاصله‌های ۳۵ و ۱۷۰ متری از بزرگراه به‌دست آمد.

بیشترین و کمترین مقدار فلز مس با مقادیر ۱۰/۰۱ و ۱/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب در برگ و پوست درخت کاج و در فاصلهٔ ۳۵ متری از بزرگراه به‌دست آمد که با غلظت فلز مس در پوست و در فاصلهٔ ۱۷۰ متری از بزرگراه اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار فلز کبالت در برگ درخت کاج و در فاصلهٔ ۳۵۰ متری از بزرگراه (۶۳/ ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، و کمترین مقدار آن در پوست درخت کاج و در فاصلهٔ ۱۷۰ متری از بزرگراه به‌دست آمد (۱۵/ ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که اختلاف معنی‌داری با برگ آن در همین فاصله نداشت.

1. Petra
2. Beijing

جدول ۱. نتایج آماری غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در غبار ریزشی

	فلزات سنگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار ± میانگین
	کادمیم	**۰/۳۵**	**۳/۲۸**	**۱/۵۶ ± ۰/۹۱**
غبار ریزشی	کبالت	۱/۱۷	۴/۱۹	۲/۶۰ ± ۰/۲۹
	مس	۲/۴	۱۵/۴۳	۸/۶۳ ± ۳/۶۵
	نیکل	۲/۱۳	۶/۰۱	۴/۰۴ ± ۰/۸۶
	سرب	۸/۰۹	۴۰/۶۳	۱۹/۱۲ ± ۳/۹۲
	روی	۴/۴۲	۶۶/۳۳	۲۲/۸۷ ± ۳/۹۸
	آهن	۶۳/۲۳	۷۲۳۰۰۰	۱۶۰۱۷۰ ± ۲/۶۲
	منگنز	۲۶/۴۱	۴۲۲۰/۸۳	۲۲۵۶ ± ۱۲/۷۶

نتایج همچنین بیانگر آن است که بیشترین مقدار فلز منگنز در فاصلهٔ ۳۵ متری از بزرگراه و برگ درخت کاج به‌دست آمد (۱۰۰/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، درحالی که کمترین مقدار آن در پوست درخت و در فاصلهٔ ۱۷۰ متری از بزرگراه مشاهده شد (۳۰/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که اختلاف معنی‌داری با برگ آن در همین فاصله نداشت. بیشترین مقدار فلز کادمیم (۱۵/۴۹میلی‌گرم بر کیلوگرم) در فاصلهٔ ۳۵۰ متری از بزرگراه و در برگ درخت کاج و کمترین مقدار آن (۲/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در پوست درخت کاج و در فاصلهٔ ۱۷۰ متری از بزرگراه مشاهده شد. بیشترین غلظت فلز سرب (۱۶/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در فاصلهٔ ۳۵ متری از بزرگراه و در برگ درخت کاج و کمترین مقدار این عنصر (۲/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در پوست درخت کاج و در فاصلهٔ ۱۷۰ متری از بزرگراه مشاهده شد. به‌طورکلی نتایج حاصل از اثر فواصل مختلف از بزرگراه نشان داد که غلظت فلزات روی، سرب، منگنز و مس با فاصله گرفتن از بزرگراه کاهش یافته است؛ نتایج این تحقیق با نتایج برخی پژوهش‌ها [۱۱، ۱۸] مطابقت دارد. در مقابل غلظت بعضی از عناصر در فاصلهٔ ۳۵۰ متری از بزرگراه زیاد بود که علت آن را می‌توان وزش بادهای چندجهته در استان دانست. از طرف دیگر هرچند با افزایش فاصله از بزرگراه درختان موجود در کمربند سبز از آلاینده‌های حاصل از حمل‌ونقل تا حدی در امان‌اند، از طرف مقابل در برابر بادهای قطاع غربی قرار می‌گیرند که آلاینده‌های حاصل از فعالیت شهرک‌های صنعتی و کارخانه‌های فولاد، کاشی و سرامیک را حمل می‌کنند. بنابراین نزدیکی به دیگر منابع آلاینده می‌تواند دلیل این پدیده باشد. تحقیق انجام‌گرفته در نیوزیلند هم نشان داد که غلظت فلزات کروم، مس، سرب و روی در خاک و گیاهان اطراف خیابان‌ها با ترافیک ارتباط دارد و با افزایش فاصله از جاده مقدار آنها می‌یابد، در صورتی که فلز نیکل از این روند پیروی نمی‌کند [۱۸]. در تحقیقی دیگر با مقایسه دو فاصلهٔ نیم و ۱۰۰ متری از جاده با افزایش فاصله، از غلظت همهٔ فلزات اندازه‌گیری‌شده کاسته شد، به‌جز فلز کادمیم که روندی افزایشی داشت [۱۷]. در اندازه‌گیری فلزات سنگین در پوست درخت خرما در بوسنی و هرزگوین در فاصلهٔ نیم متری از جاده غلظت عناصر آهن، منگنز، روی، سرب، کبالت و مس بسیار بیشتر از مقدار آنها در فاصلهٔ ۱۰۰ متری از جاده بود؛ اما در فاصلهٔ ۱۰۰ متری از جاده مقدار فلز کادمیم از لبهٔ جاده بیشتر بود [۱۳]. با فاصله گرفتن از جاده، غلظت فلزات روی و سرب نیز در خاک سطحی شهر پترا در اردن روند افزایشی داشت که دلیل آن را فعالیت‌های انسانی و بادهای یک‌جهته بیان کردند [۱۴].

در بسیاری از مطالعات از ضرایب همبستگی برای بیان منبع احتمالی فلزات سنگین استفاده شده است. ضرایب همبستگی بین فلزات می‌تواند اطلاعات مفیدی را دربارهٔ منبع و راه‌های ورود آنها تعیین کند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۴، در بین عناصر اندازه‌گیری‌شده در غبار ریزشی، سرب به‌ترتیب با ضریب همبستگی (۰/۷۵) همبستگی معنی‌داری با فلز کبالت و روی داشت ($p\leq ۰/۰۱$).

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس(میانگین مربعات) تأثیر فاصله از بزرگراه بر غلظت برخی عناصر سنگین در برگ و پوست درخت کاج تهران *(Pinus eldarica)*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		نیکل	روی	آهن	مس	کبالت	منگنز	کادمیم	سرب
فاصله از بزرگراه	۲	۴۵۹/۵۲**	۵۰۴/۰۹**	۳۵۶۱۴۷۱/۸۴**	۲۷/۸۰**	۶۸/ ۰۳**	۴۳۴۹/۹۱**	۳۶/۳۲**	۲۸۷/۰۵**
اندام درختی	۱	۰/۰۲۷ ^{ns}	۲۵/۲۴**	۱۴۹۵۰۰۰۰**	۱۴۵/۵۸**	۳۱/۴۴**	۶۹۴۵/۱۸**	۴۱۷/۷۵**	۱۳۶/۸۵**
فاصله * اندام	۲	۳۸۲/۵۷**	۳۱۷/۹۶**	۶۵۲۱۳۴۸/۱۹**	۲۹/۶۶**	۹/۵۶**	۱۷۳۲/۹۳**	۲۶/۴۰**	۱۲/۷۴**
خطا	۱۸	۱/۲۲	۰/۱۸۹	۱۶۵۶/۴۵	۰/۲۵۴	۰/۲۲۴	۱/۹۳	۰/۲۸	۰/۲۳
ضریب تغییرات ٪		۵/۳۶	۶/۱۷	۱/۹۰	۲۰/۹۳	۱۴/۸۴	۴/۳۱	۱۲/۸۸	۱۱/۳۳

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد،* معنی‌داری در سطح ۵ درصد،^{ns} نبود اختلاف معنی‌دار

جدول۳. تأثیر فاصله از بزرگراه در پوست و برگ درخت کاج تهران (*Pinus eldarica*) بر غلظت برخی فلزات سنگین(میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فاصله	اندام	عناصر اندازه‌گیری شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
		نیکل	روی	آهن	مس	کبالت	منگنز	کادمیم	سرب
۳۵متر	برگ	۱۶/۱۲ ± ۰/۵۴ ^{d}	۲۱/۵۵ ± ۰/۵۵ ^{c}	۶۴۴/۴۰± ۰/۶۱ ^{e}	۱۰/۰۱ ± ۰/۳۹ ^{a}	۵/۵۳ ± ۰/۵۶ ^{b}	۱۰۰/۸۳ ± ۱/۲۶ ^{a}	۱۰/۵۰ ± ۰/۶۴ ^{b}	۱۶/۴۴ ± ۰/۵۹ ^{a}
۳۵متر	پوست	۲۶/۶۸ ± ۲/۲۱ ^{b}	۳۸/۱۶ ± ۰/۳۵ ^{a}	۴۲۵۶/۶۱± ۰/۹۹ ^{a}	۱/۱۶ ± ۰/۱۷ ^{e}	۴/۰۲ ± ۰/۰۹ ^{c}	۵۲/۵۷ ± ۰/۸۱ ^{c}	۵/۹۵ ± ۰/۳۹ ^{c}	۱۳/۰۹ ± ۰/۳۳ ^{c}
۱۷۰ متر	برگ	۱۶/۷۸ ±۰/۸۹ ^{d}	۱۶/۸۴ ± ۰/۳۷ ^{e}	۶۴۸/۵۲ ± ۰/۸۱ ^{e}	۲/۵۱ ± ۰/۴۹ ^{c}	۲/۷۶ ± ۰/۴۸ ^{d}	۳۰/۹۹ ± ۲/۵۴ ^{e}	۹/۷۷ ± ۰/۶۳ ^{b}	۴/۶۲ ± ۰/۵۷ ^{e}
۱۷۰ متر	پوست	۲۲/۰۴ ± ۰/۹۳ ^{c}	۱۱/۳۷ ± ۰/۴۲ ^{f}	۱۶۰۷/۸۰ ± ۳/۶۲ ^{d}	۱/۳۵ ± ۰/۸۴ ^{de}	۲/۱۵ ± ۰/۱۳ ^{d}	۳۰/۸۲ ± ۱/۱۶ ^{e}	۱/۰۶ ± ۰/۲۴ ^{e}	۱/۳۴ ± ۰/۴۳ ^{f}
۳۵۰ متر	برگ	۴۱/۲۲ ± ۰/۶۲ ^{a}	۲۲/۷۱ ± ۰/۴۱ ^{b}	۱۸۶۲/۸۱ ± ۱/۷ ^{c}	۶/۷۹ ± ۰/۵۳ ^{b}	۱۰/۶۳ ± ۰/۶۱ ^{a}	۸۸/۲۵ ± ۰/۸۷ ^{b}	۱۵/۴۹ ± ۰/۶۶ ^{a}	۱۴/۵۸ ± ۰/۵۴ ^{b}
۳۵۰ متر	پوست	۲۵/۶۱ ± ۰/ ۲۹ ^{b}	۱۷/۷۲ ±۰/۴۶ ^{d}	۲۰۲۶/۴۲ ±۱/۰۶ ^{b}	۲/۰۲ ±۰/۲۹ ^{cd}	۵/۸۷ ±۰/۶۳ ^{b}	۳۴/۶۲ ±۰/۸۵ ^{d}	۳/ ۷۱±۰/۴۴ ^{d}	۶/ ۸۹±۰/۳۸ ^{d}

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند). مقادیر نشان‌دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در غبار ریزشی و درخت کاج تهران

	متغیر	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cd	Pb
غبار ریزشی	Fe	۱							
	Cu	−۰/۴۲	۱						
	Zn	۰/۰۰۶	۰/۵۵۶*	۱					
	Mn	− ۰/ ۵۷۶ *	۰/۵۹۳ *	۰/۵۰۶**	۱				
	Ni	−۰/۶۴۰**	۰/۴۷۵	۰/۲۷۴	۰/۷۰۶**	۱			
	Co	−۰/۵۵۱*	۰/۵۲۶*	−۰/۳۴۹	۰/۳۲۷	۰/۳۲۹	۱		
	Cd	−۰/۴۸۸	۰/۷۸۸**	۰/۶۴۱**	۰/۷۶۱**	۰/۷۱۱**	۰/۳۰۷	۱	
	Pb	−۰/۴۶۵	۰/۰۰۳	−۰/۷۵۰**	− ۰/۱۰۱	۰/۱۳۰	۰/۷۴۵**	−۰/۱۳۳	۱
کاج تهران	Fe	۱							
	Cu	− ۰/۵۴۹*	۱						
	Zn	۰/۸۰۱ **	− ۰/۶۰۲	۱					
	Mn	− ۰/۲۲۲	۰/۹۲۱**	۰/۲۳۹	۱				
	Ni	۰/۳۵۹	۰/۰۱۵	۰/۲۱۲	۰/۲۳۰	۱			
	Co	− ۰/۰۲۷	۰/۵۰۳*	۰/۰۶۵	۰/۵۸۳*	۰/۵۸۳*	۱		
	Cd	۰/۱۳۳	۰/۷۳۹**	۰/۶۰۳*	۰/۸۹۳**	۰/۸۹۳ **	۰/۵۳۹*	۱	
	Pb	−۰/۳۱۳	۰/۷۳۴**	۰/۱۳۴	۰/۷۵۲**	۰/۷۵۲ **	۰/۶۷۹ **	۰/۶۶۹**	۱

Werkenthin و همکاران [۱۹]، نیز گزارش دادند که سرب فلزی است که با شدت ترافیک همبستگی مثبتی نشان می‌دهد. نیکل موجود در غبار ریزشی با ضریب همبستگی ۰/۷۱، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) با فلز منگنز داشت.

فلز کادمیم نیز با ضریب همبستگی (۰/۷۹، ۰/۶۴، ۰/۷۶و ۰/۷۱) به‌ترتیب همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با فلزات مس، روی، منگنز و نیکل داشت. کبالت نیز با ضریب همبستگی (۰/۵۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۵) با فلز مس از خود نشان داد.

در سطح ۱ درصد نیز فلز منگنز با ضریب همبستگی معادل ۰/۵۱ همبستگی مثبت و معنی‌داری با فلز روی داشت. منگنز نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۵۹) با فلز مس و همبستگی معکوس و معنی‌داری (۰/۵۸-) با فلز نیکل داشت. همبستگی روی و مس نیز در سطح ۵ درصد به‌صورت مثبت و معنی‌دار بود. فلز آهن نیز به‌صورت معکوس (۰/۶۴-) با فلز نیکل دارای همبستگی معنی‌داری بود.

نتایج همبستگی بین فلزات سنگین در درخت کاج تهران در جدول ۴ نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین فلزات کبالت با منگنز و نیکل و کادمیم با روی مشاهده شد.

همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد (۰/۷۳، ۰/۷۵، ۰/۶۷، ۰/۶۶) به‌ترتیب بین فلزات سرب با مس، منگنز، نیکل، کبالت، کادمیم وجود داشت، بر اساس یافته‌های تحقیق بیشترین غلظت فلز سرب در برگ‌های درخت کاج و در حاشیهٔ بزرگراه مشاهده شد، زیاد بودن وزن مخصوص سرب و در نتیجه رسوب سریع آن روی برگ‌ها و خاک حاشیهٔ جاده توسط Yan و همکاران [۶] هم گزارش شده است.

همبستگی فلز کادمیم با مس، روی، منگنز، نیکل به‌ترتیب با ضرایب (۰/۷۳، ۰/۶۰، ۰/۸۹، ۰/۸۹)، و فلز منگنز با فلز مس با ضریب ۰/۹۲ بیشترین مقدار بود که بیانگر ارتباط بین این فلزات با یکدیگر و عناصر موجود در غبار ریزشی است. پژوهش‌های دیگری نیز ارتباط مستقیم مقادیر آلودگی گیاهان کنار جاده با عناصر سنگین را با حجم ترافیک تأیید کرده‌اند [۱۶، ۱۷].

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵ و براساس استانداردهای ذکرشده در کاربری جنگل و مرتع و حفاظت محیط زیست[۲۰] اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد در فلزات کادمیم، کبالت، مس، نیکل، سرب و روی با حدود مجاز مشاهده شد، درحالی که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با حدود مجاز در کاربری جنگل و مرتع و حفاظت محیط زیست در مورد فلز منگنز به‌دست آمد. در مورد فلز آهن نیز اختلاف معنی‌داری با حدود مجاز در کاربری جنگل و مرتع و حفاظت محیط زیست مشاهده نشد، به‌طور کلی مقدار آلودگی در فلز آهن و منگنز بیشتر از حد استاندارد کاربری جنگل و مرتع و حفاظت محیط زیست و در سایر فلزات مقدار میانگین از استاندارد هر دو کاربری کمتر بود.

جدول ۵. نتایج مقایسهٔ غلظت کل فلزات سنگین در گردوغبار ریزشی با مقدار استاندارد (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلزات	حد مجاز در کاربری جنگل و مرتع	میانگین	حد مجاز در حفاظت محیط زیست	میانگین
کادمیم	۸	۱/۵۶ **	۳/۹	۱/۵۶ **
کبالت	۵۰	۲/۶ **	۲۰	۲/۶ **
مس	۵۰۰	۸/۶۳ **	۶۳	۸/۶۳ **
نیکل	۵۳۰	۴/۰۴ **	۵۰	۴/۰۴ **
سرب	۲۹۰	۱۹/۱۲ **	۳۰۰	۱۹/۱۲ **
روی	۵۰۰	۲۲/۸۷ **	۲۰۰۰	۲۲/۸۷ **
آهن	۴۵۰۰۰	۱۶۰۱۷۰ ns	۴۵۰۰۰	۱۶۰۱۷۰ ns
منگنز	۹۵۰	۲۲۵۶ *	۹۵۰	۲۲۵۶ *

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns بدون اختلاف معنی‌دار

با استفاده از روابط ۱ و ۲، مقدار شاخص انباشت فلزها در پوست و برگ درخت کاج تهران به‌ترتیب ۷۲۶۱/۱۸ و ۱۶۳۶/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد که نشان می‌دهد پوست درخت کاج توانایی بیشتری در جذب همزمان فلزهای مختلف نسبت به برگ‌های آن دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد که فاصله از جاده تأثیر معنی‌داری بر غلظت همهٔ عناصر بررسی‌شده در این تحقیق داشت. با این‌حال روند یکنواختی بین فاصله از جاده و غلظت عناصر مشاهده نشد، به‌طوری که غلظت فلزات روی، سرب، منگنز و مس با دور شدن از بزرگراه کاهش یافت، درحالی که غلظت عناصر دیگر افزایش پیدا کرد. غلظت عناصر بررسی‌شده در اندام‌های مختلف کاج یکسان نبود، به‌طوری که به‌جز فلز روی، غلظت دیگر عناصر در برگ به‌طور معنی‌داری از پوست کاج بیشتر بود. تجزیه‌وتحلیل همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین موجود در غبار ریزشی و درخت کاج نشان داد که احتمالاً عوامل ورود و کنترل‌کنندهٔ مقدار این عناصر در درخت کاج با گردوغبار یکسان باشد. همچنین مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین در گردوغبار ریزشی با حد مجاز برای کاربری جنگل و مرتع و حفاظت محیط زیست نشان داد که به‌جز عناصر آهن و منگنز، غلظت سایر عناصر از استاندارد هر دو کاربری کمتر بود. نتایج این تحقیق همچنین بیانگر مقاومت کاج به تجمع فلزات سنگین بخصوص در پوست خود بود که با توجه به تطابق آن با شرایط سخت محیطی مانند گردوغبار، گرما و خشکی، می‌تواند گونهٔ مناسبی برای احداث بادشکن و فضای سبز حاشیهٔ خیابان‌ها، پارک‌ها و بلوارهای شهری در مناطق خشک و کم‌بارانی مانند یزد باشد.

References

[1]. Wan, D., Han, Z., Yang, J., Yang, G., and Liu, X. (2016). Heavy metal pollution in settled dust associated with different urban functional areas in a heavily air-polluted city in North China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 13(11)1119: 1-13.

[2]. Zhao, Z., Ball, J., and Hazelton, P. (2018). Application of statistical inference for analysis of heavy metal variability in roadside soil. Water, Air and Soil Pollution, 229(1): 23–35.

[3]. Rezanejad, F., Oloumi, H., Gholipoor, Z., and Manouchehri Kalantari, Kh. (2017). Response of two pine species (*Pinus nigra and P. eldarica*) around copper complex of Sarcheshmeh in heavy metals assimilation and some structural characteristics of leaf. Journal of plant Researches (Iranian Journal of Biology), 30(2): 376-390.

[4]. Jahanbazy Goujani, H., Iranmanesh, Y., Talebi, M., Shirmardi, H., Mehnatkesh, A., ourhashemi, M., and Habibi, M. (2018). Measuring of heavy elements in leaves of healthy and unhealthy Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) trees in Helen area of Chaharmahal and Bakhtiari province. Forest and Wood Products, 71(1): 71-81.

[5]. Nowak, D.J., Crane, D.E., and Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Journal of Urban Forestry & Urban Greening, 4(3-4): 115–123.

[6]. Yan, X., Zhang, F., Zeng, C., Zhang, M., Prasad Devkota, L., and Yao, T. (2012). Relationship between heavy metal concentrations in soils and grasses of roadside farmland in Nepal. International journal of Environmental Research and Public Health, 9(9): 3209-3226.

[7]. Shan, Y., Jingping, C., Liping, C., Zhemin, S., Xiaodong, Z., Dan, W., and Wenhua, W. (2007). Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere. Acta Ecologica Sinica, 27(11): 4590–4595.

[8]. Kashyap, R., Sharma, R., and Uniyal, S.K. (2018). Bioindicator responses and performance of plant species along a vehicular pollution gradient in western Himalaya. Environment Monitoring Assessment, 190(302): 1-17.

[9]. Farid, H., Shams, Z.I., and Khan, F.A. (2017). Lead concentration in urban dust and in leaves of street plants, Karachi. Kuwait Journal of sciences, 44(2): 129-135.

[10]. Abbasspour, M., Javid, A.H., and Saeidi, S. (2014). The impact of urban parks on PM10 suspended particles, through using GIS software. Journal of Environmental Science and Technilogy, 16(1): 1-12.

[11]. Hasnvand, H., Ghasemi Aghbash, F., Soilgi, E., and Pazhohan, I. (2018). The distance from road effects on heavy metals accumulation in soil and leaves of Persian oak trees (Quercus brantii) in Aleshtar–Khorramabad highway. Journal of Forest Research and Development, 4(1): 29-41.

[12]. Klute, A. (1986). Methods of soil analysis, Part 1: Physical and microbiological methods, second edition. American society of agronomy, Inc. soil science society of America, Inc. publisher Madison, Wisconsin.

[13]. Liu, Y., Zhu, Y., and Ding, H. (2007). Lead and cadmium in leaves of deciduous trees in Beijing, China: Development of a metal accumulation index (MAI). Environmental Pollution, 145(2): 387-390.

[14]. Eid Alsbou, E.M., and Al-Khashman, O.A. (2018). Heavy metal concentrations in roadside soil and street dust from Petra region, Jordan. Environmental Monitoring and Assessment, 190(48): 1-13.

[15]. Wan, D., Yang, G., Yang, J., and Zhan, C. (2018). Ecological risks and spatial distributions of heavy metals in beijing atmospheric dust. Polish Journal of Environmental Studies, 27(2): 881-887.

[16]. Azeem Jadoon, W., Khpalwak, W., Garven Chidya, R.CH., Abdel-Dayem, Sh.M., Takeda, K., Makhdoom, M.A., and Sakugawa, H. (2018). Evaluation of levels, sources and health hazards of road-dust associated toxic metals in Jalalabad and Kabul Cities, Afghanistan. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 74(1):32-45.

[17]. Skrbic, B., Milovaca, S.Z., and Matavulj, M. (2012). Multielement profiles of soil, road dust, tree bark and wood-rotten fungi collected at various distances from high-frequency road in urban area. Ecological Indicators, 13(1): 168-177.

[18]. Ward, N., Brooks, R., and Roberts, E. (1977). Heavy-metal pollution automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand. Environmental Science and Technology, 11(9): 917-920.

[19]. Werkenthin, M., Kluge, B., and Wessolek, G. (2014). Metals in European roadside soils and soil solution-A review. Environmental Pollution, 189: 98-110.

[20]. Esfandiari, M. (2018). Investigation the role of green belt of Yazd-Ardakan roadside in decreasing fallen dust and adsorption of some heavy metals. Ph.D. Thesis, Desert Region Management Dept., College of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

Accumulation of heavy metals in Mondell Pine (*Pinus eldarica*) leaves and bark at different distances of Yazd Highway Green Belt

M. Esfandiari; Ph.D. Student of Combat Desertification, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, I.R. Iran

H. Sodaeizadeh*; Assoc. Prof., Department of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, I.R. Iran

M.H. Mokhtari; Assist. Prof., Department of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, I.R. Iran

(Received: 12 October 2018, Accepted: 26 November2018)

ABSTRACT

This research aims at studying the ability of Mondell pine tree (*Pinus eldarica*) in decreasing the heavy metal contaminants within the environment by determining the concentration of heavy metals in the leaves and bark of *P. eldarica* and comparing their concentrations with falling dust. After preparing the falling dust and plant samples, their heavy elements have been extracted by acid digestion method and then measured by flame atomic absorption spectrophotometry .The results showed that the concentration of iron, manganese, zinc, lead, and cadmium in falling dust were the highest to the lowest, respectively. Concentrations of cadmium, iron ,cobalt, and nickel, increased with increasing the distance from the road due to multi-directional winds and the presence of other contaminants. The Pearson correlation coefficient among the heavy metals found in the falling dust and Mondell Pine tree showed that the input and controlling factors of these elements in the Mondell Pine tree are probably the same as the dust. The results showed that the *P. eldarica* bark with the amount of accumulation index of 7261 mg/kg has more ability to simultaneously absorb different metals. As a result, it is expected that significant amount of heavy metals will be absorbed by these trees in the green belt surrounds the Yazd urban area.

Keywords: Falling dust, Heavy metals, *Pinus eldarica*, Metal accumulation index.

* Corresponding Author, Email: hsodaie@yazd.ac.ir, Tel: +983538210312